Eine neue Form

des

# Bunsen-Photometers

von

Dr. Hugo Krüss.

# Eine neue Form des Bunsen-Photometers

von

Dr. Hugo Krüss.

---

Das Fettfleck-Photometer nach *Bunsen* ist von allen Lichtmessaparaten derjenige, welcher am meisten angewendet wird. Bereits im Jahre 1843, als *W. Th. Casselmann** dieses Instrument zum ersten Male ausführlich beschrieb, belegte er durch Versuche, dass das Bunsen-Photometer bedeutend genauere Resultate zulasse als die Photometer von *Rumford* und *Ritchie*. Das Rumford'sche Schattenphotometer wird seiner grossen Ungenauigkeit wegen nicht mehr zu exakten Messungen angewendet und von der Klasse von Lichtmessapparaten, welche von der Konstruktion Bouguers abstammen, kommt jetzt wohl nur noch das in Frankreich sehr verbreitete Foucault-Photometer in Betracht.

Das Bunsen-Photometer hat nun bisher in der Gastechnik bedeutend häufigere Anwendung gefunden als das Foucault'sche und auch in der Elektrotechnik scheint man sich in den meisten Fällen des Bunsen-Photometers zu bedienen und zwar aus einem Grunde, welchen schon Casselmann als einen Vorzug dieser Konstruktion anführt, weil nämlich bei derselben der Unterschied in der Farbe der beiden mit einander zu vergleichenden Lichtquellen bei weitem am wenigsten störend ist.

Die grösste Schwierigkeit bei der Bestimmung der Helligkeit starker elektrischer Bogenlampen erwächst bekanntlich aus der so sehr verschiedenen Färbung des elektrischen Lichtes und der als Vergleichslichtquelle gewählten Gas-, Petroleum- oder Ölflamme. Die beiden Flächen des Photometers, deren Helligkeit mit einander verglichen werden soll, werden durch die beiden Lichtquellen sehr verschieden gefärbt, und fast alle Beobachter, welche das Foucault-Photometer benutzten, sagen aus, dass diese ungleiche Färbung der beiden Hälften des Photometerschirmes bei der Messung der Helligkeit des elektrischen Lichtes sehr störend hervortrete. Wenn solches bei dem Bunsen-Photometer bedeutend weniger der Fall ist, so mag dieses seinen Grund darin haben, dass es bei demselben nicht allein ankommt auf die Vergleichung der Intensität zweier von den beiden Lichtquellen beleuchteten Flächen, sondern dass man einen ferneren Massstab für die richtige Einstellung des Photometerschirmes dadurch hat, dass man sein Augenmerk auf die gleiche Deutlichkeit der Grenzen des Fettfleckes gegen das ungefettete Papier auf den beiden Seiten des Schirmes richtet. So ist es möglich, dass man mit einiger Übung bei dem Arbeiten mit dem Bunsen-Photometer die verschiedenen Farbeneindrücke der beiden beleuchteten Seiten gänzlich unterdrücken kann und durch Beobachtung der bezeichneten Grenzen genauere Einstellungen trotz der verschiedenen Färbungen fertig bringt, als mit dem Foucault-Photometer.

---

* Pogg. Ann. 63, p. 576 (1844).

Bei diesem, wie mir scheint für die Wahl eines Photometers Ausschlag gebenden, Vorzuge des Bunsen-Photometers bleibt dieses Instrument leider noch mit einem sehr fühlbaren Mangel behaftet trotz aller denselben betreffenden Abänderungsvorschläge, welcher wohl manches Mal Veranlassung giebt, dass dennoch das Foucault-Photometer bevorzugt wird. Bei letzterem stossen nämlich die beiden mit einander zu vergleichenden beleuchteten Flächen in einer scharfen Linie zusammen, während es bei dem Bunsen-Photometer auf die Vergleichung der beiden Seiten eines und desselben Papierschirmes ankommt. Bei den von verschiedenen Konstrukteuren getroffenen Anordnungen, welchen das Bunsensche Prinzip zu Grunde liegt, treten immer die einen oder anderen Schwierigkeiten und Unbequemlichkeiten auf. Deshalb erlaube ich mir einen neuen Weg zur Erreichung dieses Zweckes mitzuteilen, welcher vielleicht Anklang finden wird, ohne natürlich den Anspruch erheben zu wollen, dass nicht einmal eine noch bessere Lösung gefunden werden sollte.

Die Konstruktion des Bunsen-Photometers beruht bekanntlich darauf, dass ein auf einem Papiere befindlicher Fettfleck bei durchfallendem Lichte hell auf dunklem Grunde, bei auffallendem dunkel auf hellem Grunde erscheint. Hieraus könnte man schliessen, dass bei gleich starker Beleuchtung des Papieres von beiden Seiten der Fettfleck beiderseits weder hell auf dunklem, noch dunkel auf hellem Grunde erscheine, also gänzlich verschwinde. Dieses wäre auch in der That der Fall, wenn das auf den Papierschirm fallende Licht nur in zwei Teile zerlegt würde — einen der reflektiert und einen der hindurch gelassen wird. Wenn der Papierschirm genau in der Mitte zwischen zwei Lichtquellen von genau gleicher Intensität aufgestellt wird, so zeigt die Beobachtung, dass der Fettfleck nicht vollkommen verschwindet, dass er dunkel auf hellem Grunde erscheint. Das auf den Papierschirm fallende Licht wird nämlich nicht in zwei, sondern in drei Teile zerlegt; der dritte Teil wird absorbiert und zwar in verschiedenem Masse von dem gefetteten und dem nicht gefetteten Papier.

So giebt es drei bemerkenswerte Einstellungen des Photometerschirmes, nämlich diejenige, bei welcher der Fettfleck rechts, diejenige, bei welcher er links verschwindet und diejenige, in welcher er sich beiderseits gleichmässig von dem nicht gefetteten Papiere unterscheidet. Die mathematische Untersuchung lehrt, dass aus der mittleren Stellung direkt nach dem Gesetz der Abnahme der Helligkeit mit dem Quadrate der Entfernung das richtige Intensitätsverhältnis der beiden mit einander verglichenen Lichtquellen gefunden wird, während ausserdem dasselbe Verhältnis zu berechnen ist aus dem geometrischen Mittel aus denjenigem Intersitätsverhältnissen, welche den beiden Stellungen entsprechen, in denen der Fettfleck links und rechts verschwindet.*

Bei der früher vielfach benutzten Anordnung des Bunsen-Photometers, wie sie demselben von Desaga gegeben wurdé, wird bekanntlich nur eine dieser drei Stellungen benutzt, nämlich diejenige, bei welcher der Fettfleck auf der einen Seite des Papierschirmes verschwindet. Nennen wir diese Seite die vordere, so ist hinter dem Papierschirm

* Krüss, Verhandlungen des Naturwissenschaftlichen-Vereins von Hamburg-Altona 1880 p. 71. Zeitschrift für Angewandte Elektricitätslehre 1881 p. 460. Repartorium für Physik. Technik XVIII p. 54.

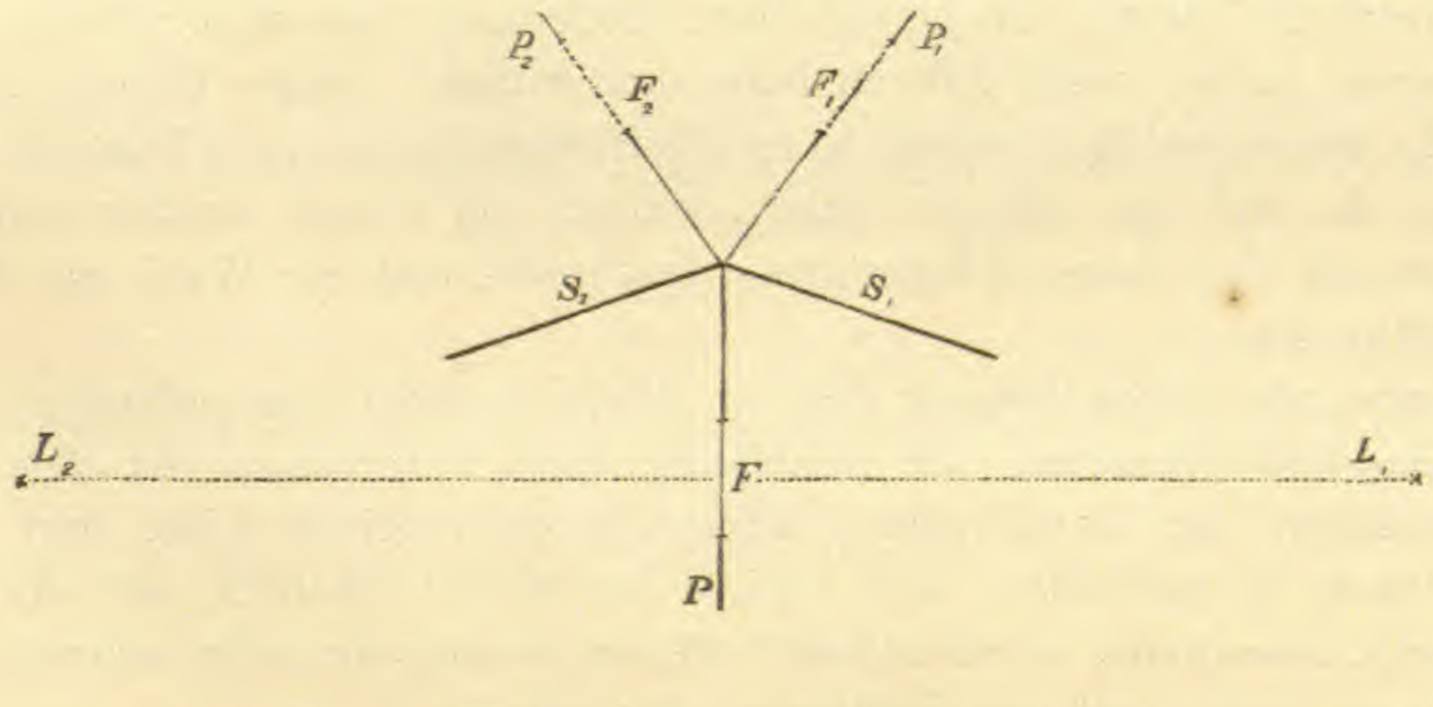
in konstanter Entfernung von demselben, also mit ihm verschiebbar, eine kleine Gasflamme als Hülfslichtquelle angebracht. Die Vorderseite des Schirmes wird dann nach einander den beiden mit einander zu vergleichenden Lichtquellen zugewendet und jedes Mal in solche Entfernung gebracht, dass der Fettfleck verschwindet.

Wenn diese Konstruktion auch in der Gastechnik angewendet werden konnte, wo es sich in der Regel um Helligkeiten, die verhältnismässig nicht sehr von einander verschieden, und hauptsächlich um nahezu gleich gefärbte Lichtquellen handelt, so ist sie in der Elektrotechnik nicht zu benutzen, weil man hier oft Vergleichslichtquellen anwenden muss, die sich nicht mit dem Papierschirm verschieben lassen und des Weiteren, weil die Farbenunterschiede in den beiden Lichtquellen so gross sind, dass ein Verschwinden des Fettfleckes überhaupt nicht stattfindet. Ausserdem wird aber das Arbeiten mit diesem Photometer erschwert durch die Benutzung einer Hülfslichtquelle überhaupt, für deren Konstanz besonders gesorgt werden muss.

Die gleichen Bedenken sind dem, theoretisch sonst sehr bestechenden, Differentialphotometer von Zenger gegenüber zu erheben, bei welchem der Papierschirm *fest* in der Halbierungslinie eines rechten Winkels steht, welchen die beiden Massstäbe mit einander bilden, an denen die Lichtquellen bewegt werden. Hier kommt ausserdem hinzu, dass die Lichtquellen, deren Helligkeit gemessen werden sollen, gegen den Papierschirm bewegt werden müssen, um die richtige Einstellung zu erhalten. Bei manchen Lichtquellen, namentlich elektrischen Bogenlampen, ist solches in der Praxis unausführbar, abgesehen davon, dass man sich zu diesem Zwecke entweder eines Assistenten oder eines komplicierten und deshalb teuren Mechanismus zu bedienen hätte.

Die ausgebreiteteste Anwendung hat wohl die von Rüdorf vorgeschlagene Anordnung des Bunsen-Photometers* gefunden, bei welcher der Papierschirm P mit dem Fettfleck F

Fig. 1.




$A$.

* Pogg. Ann. Jubelband p. 234 und Journal f. Gasbeleuchtung 1869 p. 283 und 567.

in der Halbierungslinie eines Winkels von etwa 140 Grad steht, welchen zwei Spiegel $S_1$ und $S_2$ mit einander bilden. Das beobachtende Auge A sieht dann die Bilder der beiden Seiten des Papierschirmes gleichzeitig in den beiden Spiegeln $S_1$ und $S_2$ und kann so die Helligkeit beider mit einander vergleichen.

Bei dieser Anordnung benutzt man fast ausschliesslich nur die eine Einstellung des Photometerschirmes zwischen den beiden Lichtquellen $L_1$ und $L_2$, in welcher der Papierschirm von beiden Seiten gleich hell beleuchtet ist, in welcher also die Bilder $F_1$ und $F_2$ des Fettfleckes F gleich dunkel auf hellem Grunde erscheinen. Es liegt hier die Frage nahe, warum man denn, da das Kriterium des vollständigen Verschwindens des Fettfleckes doch nicht benutzt wird, nicht den Fettfleck ganz fortlässt und einfach das Foucault-Photometer anwendet. Die Antwort hierauf ist schon oben gegeben worden in der Erläuterung, wie durch die Beobachtung der Grenzen des Fettfleckes eine Erhöhung der Genauigkeit der Einstellung ermöglicht wird.

Diese Rüdorf'sche Konstruktion des Bunsen-Photometers hat nun bei allen ihren Vorzügen doch zwei Nachteile. Ist die Entfernung der Lichtquelle von dem Schirm nicht eine im Verhältnis zu den Dimensionen des Schirmes sehr grosse, so fallen die Strahlen nicht auf alle Teile des Schirmes nahezu senkrecht auf und die Beleuchtung der ganzen Fläche ist keine gleichmässige. Eine Folge hiervon ist, dass die Einstellung des Schirmes eine andere wird, so bald man das Auge aus der Mittellinie etwas nach der Seite bewegt. Es lässt sich natürlich die richtige Stellung des Auges leicht fixieren durch Anbringung einer Blendung mit einer nicht zu grossen Öffnung, durch welche das Auge zu blicken hat.

Der zweite bedeutend wichtigere Übelstand liegt bekanntlich darin, dass die beiden mit einander zu vergleichenden Bilder $F_1$ und $F_2$ des Fettfleckes F sehr weit von einander entfernt sind. Dieser Nachteil ist bei der vorliegenden Konstruktion nicht zu vermeiden, da man wegen des Schattens, welchen die Spiegel selbst auf den Papierschirm werfen, dem Fettfleck immer eine beträchtliche Entfernung von dem Scheitel des Winkels der Spiegelebenen geben muss. Wenn man auch mittelst einiger Übung eine ziemliche Genauigkeit der Beobachtungen erzielt, so ist die Notwendigkeit, zwei Flächen mit einander zu vergleichen, die weit aus einander liegen, vielfach ein Grund, welcher von vorneherein von der Benutzung des Bunsen-Photometers abschreckt und die Wahl auf das Foucault-Photometer fallen lässt.

Ich habe nun schon längere Zeit ein Mittel gesucht und gefunden, den grossen Vorzug des Bunsen-Photometers, die Benutzung eines Fettfleckes, mit dem Vorzug des Foucault-Photometer, die Vergleichung zweier in einer feinen Linie hart an einander stossender Flächen, zu verbinden. Vor kurzem hat Hefner-Alteneck eine ebenfalls diesem Zwecke dienende Anordnung veröffentlicht;* dieses veranlasste mich, nunmehr auch meine Idee ausführen zu lassen und den Fachkreisen vorzulegen.

---

* Elektrotechn. Zeitschrift 1883, Novemberheft, Journal für Gasbeleuchtung 1883 No. 24, Centralblatt für Elektrotechnik 1884 p. 76.

Hefner-Alteneck ersetzt die beiden *hinter* den Papierschirm gestellte Spiegel durch zwei Prismen, welche er *vor* dem Schirme anbringt. Durch Brechung in denselben kann das davor befindliche Auge die beiden Seiten des Papierschirmes gleichzeitig wahrnehmen. Hier ist der schädliche Raum vermieden, welcher im Schatten der beiden Spiegel liegt, der Papierschirm ist unmittelbar an dem Endpunkte der Linie, in welcher die beiden Prismen zusammenstossen, zu benutzen und die beiden beleuchteten Felder resp. ihre Bilder stossen so unmittelbar aneinander. In der Figur, durch welche Hefner-Alteneck seine Konstruktion erläutert, geht allerdings die optische Axe des Photometers nicht durch den bezeichneten Endpunkt, sondern steht etwas von demselben ab, doch wäre es natürlich leicht, durch eine Verschiebung der Prismen dieses zu erreichen.

Ein wesentlicher Nachteil der Hefner-Alteneckschen Anordnung ist aber, dass die Bilder der beiden Seiten des Papierschirmes durch *Brechung* in einem Prisma entstehen. Die Folge hiervon ist, dass die Bilder etwas verzerrt erscheinen (gerade Linien haben bekanntlich etwas gekrümmte Bilder) und hauptsächlich, dass nebenbei eine Farbenzerstreuung eintritt, welche selbst bei dem in der Figur angedeuteten Prismenwinkel von fast 30 Grad merkbar farbige Ränder erzeugen muss. Einen bedeutend kleinen Prismenwinkel zu wählen, wird kaum angängig sein, da dann die Bilder zu wenig gegen einander geneigt und in Folge dessen schlecht zu beobachten sein werden.

Bei meiner Konstruktion habe ich mich deshalb lediglich der Spiegelung bedient durch Anwendung zweier Reflexionsprismen I und II. In der Verlängerung der Mittel-

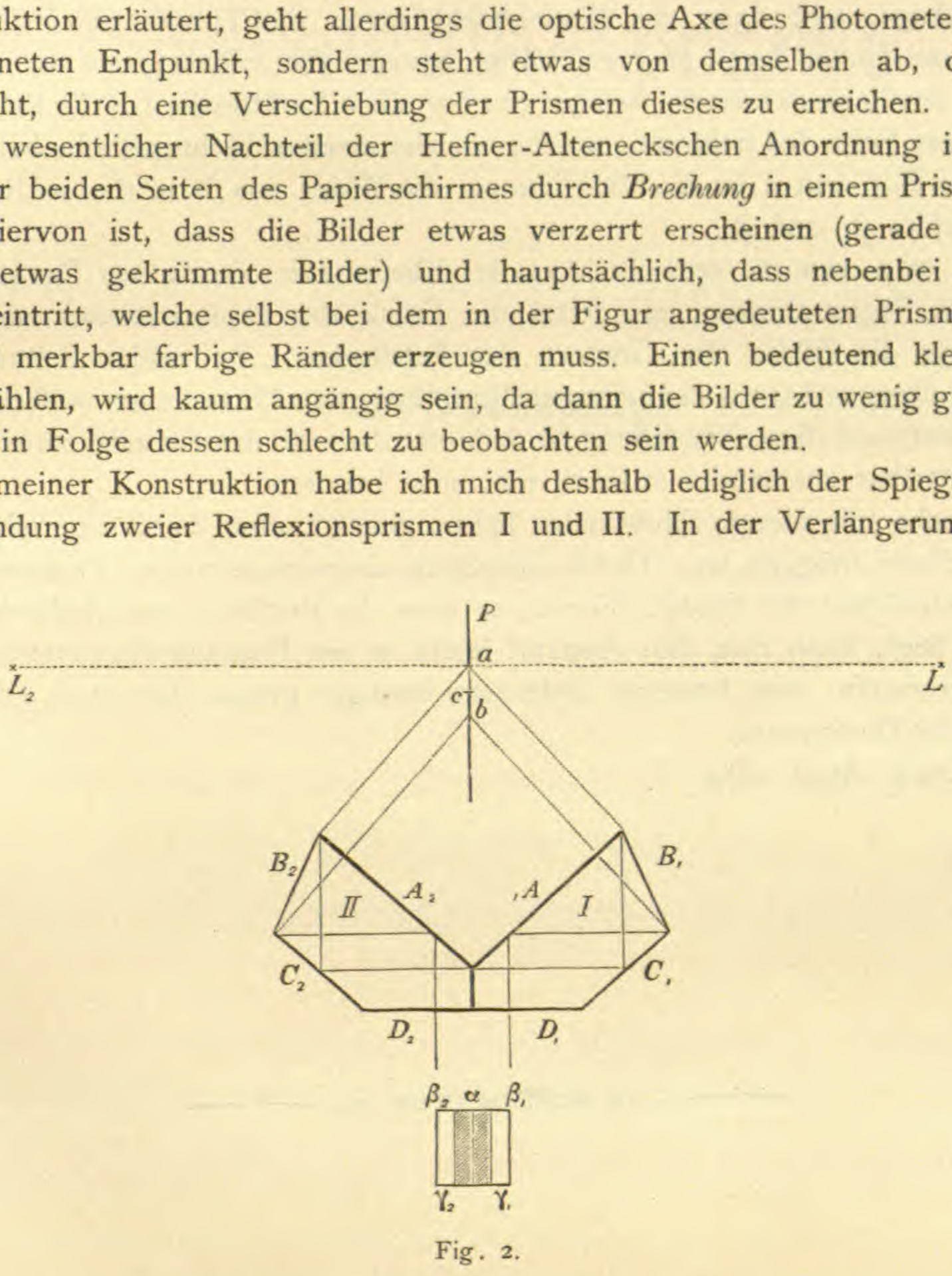



Fig. 2.

ebene, in welcher die beiden Prismen zusammenstossen, steht der Papierschirm P. Die Winkel der Flächen der Prismen gegen einander sind so gewählt, dass die Strahlen, welche von allen Punkten des Papierschirmes zwischen a und b senkrecht auf die Fläche $A_1$ des

Prisma I fallen, an $B_1$, $C_1$ und $A_1$ reflektiert werden und dann senkrecht zur Fläche $D_1$ wieder aus dem Prisma austreten. Ebenso ist der Verlauf der Strahlen in dem zweiten Prisma II. Vor den Flächen $D_1$ und $D_2$, welche in einer scharfen Kante zusammenstossen, kann ein Rohr angebracht werden von je nach der Sehweite des Beobachters zu verändernder Länge, an dessen Ende sich eine Blendung mit kleiner Öffnung befindet, durch welche die Stellung des beobachtenden Auges in der Ebene des Papierschirmes fixiert wird.

Das Auge sieht dann das Gesichtsfeld durch die Trennungslinie $\alpha$ der beiden Flächen $D_1$ und $D_2$ in zwei gleiche Hälften geteilt, die rechte Seite ist das Bild der rechten Seite des Papierschirmes, welche von der einen Lichtquelle $L_1$, die linke Hälfte dasjenige der linken Seite des Schirmes, welche von der zweiten Lichtquelle $L_2$ beleuchtet wird. Dabei fällt das Bild von a in die Mittellinie $\alpha$, die Bilder von b in die seitlichen Grenzen des Gesichtsfeldes $\beta_1$ und $\beta_2$.

Legt man nun die optische Axe des Photometers durch den Punkt a senkrecht zur Ebene des Papierschirmes und fettet das Stück des Papierschirmes von a bis c, so sind $\gamma_1$ und $\gamma_2$ die Bilder der Grenzen des Fettfleckes. Zu beiden Seiten der Mittellinie $\alpha$ findet demgemäss bei der richtigen Einstellung des Photometers vollkommen gleiche Beleuchtung statt und diese Einstellung ist dadurch, dass die mit einander zu vergleichenden Flächen unmittelbar aneinander stossen, eine sehr bequeme.

Versuche mit diesem Photometer haben gezeigt, dass damit eine sehr sichere und genaue Einstellung möglich ist. Durch Einsetzen eines ungefetteten Papierschirmes oder nur durch Verschieben des Papierschirmes, so dass der Fettfleck ausserhalb des wirksamen Raumes a b liegt, kann man den Apparat leicht in ein Foucault-Photometer verwandeln und sich überzeugen, dass letzteres bedeutend weniger genaue Resultate ergiebt als das Bunsen-Fettfleck-Photometer.

Hamburg, April 1884.